

БЕРДЫШЕВ Игорь Владимирович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАШИН В ЛЕСНОМ
ХОЗЯЙСТВЕ ПУТЕМ ОБЛЕГЧЕНИЯ ЗАПУСКА
ДВИГАТЕЛЕЙ, ПЕРЕВЕДЕННЫХ НА ГАЗ**

Специальность 05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург - 2012

Работа выполнена на кафедре «Эксплуатация машинно-тракторного парка» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уральская государственная сельскохозяйственная академия».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор,
Охотников Борис Лазаревич

Официальные оппоненты:

Плаксин Алексей Михайлович
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО Челябинская государственная
агроинженерная академия / кафедра
эксплуатации машинотракторного парка,
профессор

Ковалев Рудольф Николаевич
доктор технических наук, профессор,
Уральский государственный лесотехнический
университет / кафедра экономики транспорта
и логистики, заведующий кафедрой

Ведущая организация:

Марийский государственный
технический университет (МарГТУ)
г. Йошкар-Ола

Защита диссертации состоится «22» марта 2012 года в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д.212.281.02 при ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет» по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет».

Автореферат разослан «20» февраля 2012 г. и размещен на официальном сайте www.usfeu.ru 20 февраля 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

Н.В. Куцубина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Лесное хозяйство занимается изучением, учетом, воспроизводством лесов, охраной их от пожаров и т.п. В разработке лесных массивов, их эксплуатации и возобновлении значительная роль принадлежит транспорту. Транспортировка лесоматериалов из лесозаготовительных пунктов, перевозка семенного и посадочного материала при возобновлении лесов, перевозка работников лесного хозяйства к местам проведения работ и т.п., - все эти операции осуществляются путем использования грузовых автомобилей, фургонов, пикапов. В себестоимости продукции лесопромышленного комплекса большую долю составляют транспортные расходы. Рост цен на поставляемое лесному хозяйству моторное топливо, получаемое из нефти, ведет к увеличению себестоимости продукции. Изменить сложившуюся ситуацию можно путем применения альтернативных видов топлива. Применение сжиженного нефтяного газа в качестве моторного топлива в связи с невысокой стоимостью и экологичностью является экономически выгодным как для лесного комплекса, так и для сельского хозяйства. Данный вопрос находится под контролем государства. Отрицательной стороной применения сжиженного нефтяного газа в качестве автомобильного топлива является значительное осложнение эксплуатации техники и особенно запуск двигателя в зимний период. Физико-химические свойства газа определяют необходимость тепловой подготовки топлива перед запуском двигателя. Выходом для лесного хозяйства является включение в мероприятия ежесменного технического обслуживания машин операций по тепловой подготовке топлива перед подачей в цилиндры двигателя, обеспечивающих безотказность техники, снижение затрат времени и труда, повышение производительности и сокращение себестоимости перевозок.

Теоретической основой исследования являются труды и разработки современных ученых. Однако следует отметить недостаточную проработанность вопроса по разработке и исследованию средств облегчения запуска карбюраторных двигателей на сжиженном нефтяном газе (СНГ) при низких температурах. Такие работы должны быть направлены на обеспечение запуска двигателей при отрицательных температурах окружающего воздуха с малыми затратами энергии, времени и минимальными износами. Это определило направление научного поиска и обусловило выбор темы, связанной с использованием машин в лесном производстве. Работа выполнена в соответствии с концепцией развития лесного хозяйства (Федеральное агентство «Рослесхоз» Министерство природных ресурсов Российской Федерации).

Целью работы является повышение эффективности использования машин в лесном хозяйстве в условиях низких температур за счет облегчения запуска двигателя, работающего на сжиженном нефтяном газе, путем его тепловой подготовки.

Объектом исследования является тепловая подготовка топлива перед запуском двигателей на СНГ как условие повышения эффективности использования машин в лесном хозяйстве в зимний период.

Предмет исследования – взаимосвязь процесса тепловой подготовки газа с эффективностью и продолжительностью запуска двигателя, работающего на СНГ в производственных условиях лесного хозяйства в зимний период.

Методы исследования: теоретические исследования базируются на применении методов анализа, причинно-следственных связей, экспертных оценок и теории теплотехники. В основе экспериментальных исследований лежат теплотехнические расчеты, методы измерения, теория вероятности, математическая статистика и др.

Научная новизна:

- установлена зависимость распределения температур в зимний период на широте региона, позволяющая оценить необходимость разработки мероприятий по облегчению запуска двигателей машин, эксплуатируемых в сложных природно-производственных условиях лесного хозяйства;

- разработана система тепловой подготовки топлива перед запуском двигателя, обеспечивающая испарение сжиженного нефтяного газа и осуществляемая во время ежедневного технического обслуживания машин при их содержании на открытых площадках предприятий лесопромышленного комплекса;

- раскрыта взаимосвязь параметров процесса тепловой подготовки топлива (времени, количества тепла) перед запуском двигателя с показателями:

температура окружающего воздуха, площадь поверхности нагрева, температура воздуха на выходе из подогревателя, и т.п.;

- установлены зависимости продолжительности запуска и разогрева двигателя при различных температурных условиях.

Практическая значимость работы и реализация ее результатов

Предпусковой подогрев топлива и разогрев двигателя в подкапотном пространстве с использованием горячего воздуха сокращает затраты времени в 1,8...2,1 раза по сравнению с запуском и разогревом двигателя на бензине и газе. Расход топлива для разогрева двигателя до плюс 40 °С сокращается в 1,7...1,9 раза. Технологию и средства тепловой подготовки двигателя, работающего на СНГ в условиях низких температур, с целью исключения затрат на создание громоздких и дорогостоящих, требующих дополнительных источников энергии систем для подогрева ДВС предпочтительно использовать на предприятиях лесного хозяйства, характеризующихся сложными условиями производства и труда (труднодоступные лесосечные площадки, обширные лесные угодья, лесовосстановительные территории). Получен патент на полезную модель «Устройство для запуска двигателя на сжиженном нефтяном газе в зимних условиях» под № 108806 Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам от 27.09.2011 года, бюллетень № 27.

Основные положения, выносимые на защиту:

- взаимосвязь параметров процесса тепловой подготовки газа при ЕО машин лесного хозяйства с показателями: температура окружающего воздуха, площадь поверхности нагреваемых элементов, количество тепла подаваемого к редуктору и др.;

- закономерности повышения потребности тепла для обеспечения запуска, в связи с понижением температуры окружающего воздуха;

- сравнительные данные запуска двигателя с использованием тепловой подготовки топлива с существующим запуском от температуры окружающего воздуха;

- численные значения параметров математической модели применительно к конкретной марке автомобиля и нагревателя.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы доложены и одобрены на научно-технических конференциях УрГСХА (Екатеринбург, 2007 – 2010 гг.), на научно-практической конференции КГСХА (Курск, 2010 г.), на научно-технической конференции ЧГАА (Челябинск, 2011 г.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 11 научных работ, в том числе четыре - в изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов по работе, библиографии из 195 наименований и 19 приложений. Основное содержание работы изложено на 179 страницах машинописного текста, содержит 21 таблицу и 25 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, поставлена цель исследования, показана ее научная и практическая значимость, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава «Состояние вопроса и задачи исследования» посвящена анализу факторов, влияющих на запуск двигателей внутреннего сгорания в условиях отрицательных

температур, обзору технологий и средств тепловой подготовки к запуску, ее особенностям при работе двигателей, использующих газовое топливо, анализу научно-исследовательских работ по теме. Широкое применение грузового автомобильного транспорта в лесопромышленном комплексе обуславливает принципы технической эксплуатации машин. Техническая эксплуатация автомобилей должна быть направлена на интенсификацию производства, повышение производительности и улучшение условий труда, экономию всех видов ресурсов и обеспечение экологичности технологических процессов. Основными элементами технической эксплуатации являются техническое обслуживание и ремонт, которые должны соответствовать ряду требований: обеспечение заданных уровней эксплуатационной надежности автомобилей при рациональных материальных и трудовых затратах; ресурсосберегающая и экологическая направленность; планово-нормативный характер; учет разнообразия условий эксплуатации подвижного состава и др.

Факторы, влияющие на работу двигателя внутреннего сгорания, причины затрудненного запуска, пути устранения причин, осложняющих запуск двигателя в условиях низких температур, рассматривались в работах Хваткова А.Н., Галкина Ю.М., Минкина М.Л., Менделевича Я.А., Моисейчика А.Н., Брусянцева Н.В., Лосавио Г.С., Бережнова Н.Г., Цуцоева В.И., Денежко Л.В., Новопашина Л.А., Боровских А.М. и других.

Размещение лесозаготовок обусловлено наличием лесосырьевых ресурсов. Поэтому ведущими районами по производству деловой древесины являются: Европейский Север (Архангельская и Вологодская области, Республики Карелия и Коми), Восточная Сибирь (Иркутская область и Красноярский край), Урал (Свердловская область) и др. Общеизвестно, что данные регионы характеризуются холодными и даже суровыми климатическими условиями в зимний период, осложняющими эксплуатацию автомобильной техники. Проблемным является запуск двигателей, работающих на жидком и на газовом топливе. Анализ существующих технологий и средств тепловой подготовки к запуску автомобилей, работающих на СНГ, показал, что способ тепловой подготовки двигателя к запуску горячим воздухом представляет значительный интерес с точки зрения простоты, невысокой стоимости и доступности получения горячего воздуха в любых условиях, в неограниченных количествах, а также безопасности теплоносителя и простоты обслуживания. В связи с этим способ воздухоподогрева рационально использовать в лесном хозяйстве для облегчения запуска двигателей в сложных природно-производственных условиях. Облегчение запуска двигателя осуществляется путем подогрева топлива в редукторе-испарителе во время ежесменного технического обслуживания (ЕТО) автомобиля, обеспечивающего надежный запуск, безотказность, сокращение трудовых и материальных затрат, повышение производительности труда.

На основе анализа литературных источников, описывающих принцип работы и устройство газовой аппаратуры, а также физико-химические свойства сжиженного нефтяного газа, была сформулирована **рабочая гипотеза**: тепловая подготовка топлива в редукторе-испарителе, обеспечивающем паровую фазу, в процессе ежесменного технического обслуживания автомобилей способствует надежному и непродолжительному запуску бензинового двигателя внутреннего сгорания на сжиженном нефтяном газе в условиях низких температур.

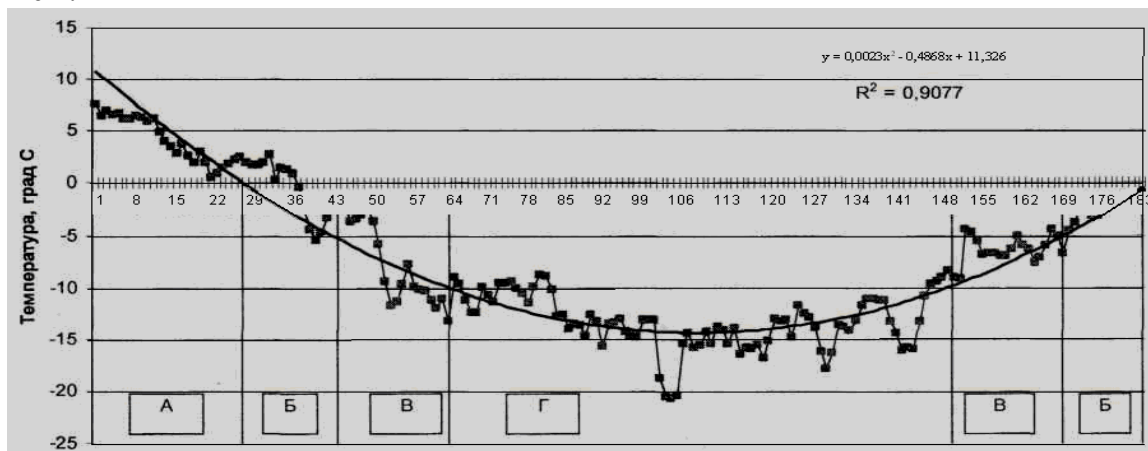
Таким образом, анализ состояния вопроса позволил определить **задачи исследования**:

1. Установить особенности запуска и работы бензинового двигателя на сжиженном нефтяном газе при низких температурах в условиях производства лесопромышленного комплекса, обосновать необходимость включения операций тепловой подготовки топлива в перечень мероприятий ежесменного технического обслуживания (ЕО).
2. Теоретически обосновать и установить зависимости между температурой окружающего воздуха лесопромышленного региона и параметрами процесса подготовки газа к сжиганию.

3. Определить эффективность операций тепловой подготовки топлива к запуску двигателя через температурный диапазон региона и показатели: продолжительность запуска, расход топлива и экономию денежных средств.

Вторая глава «Обоснование технологии и средств тепловой подготовки бензинового ДВС к запуску на СНГ в условиях отрицательных температур» посвящена установлению закономерностей изменения параметров процесса тепловой подготовки СНГ к запуску бензинового ДВС в условиях отрицательных температур, разработке технологии и средств.

В разных условиях эксплуатации показатели надежности автомобилей лесного хозяйства и лесозаготовительного процесса будут различаться, что скажется и на показателях эффективности их технической эксплуатации и технического обслуживания. Существенное влияние на характер технического обслуживания (ежедневного ТО) оказывают природно-климатические и сезонные условия эксплуатации транспортных средств. В связи с этим исследованы и установлены температурные изменения воздушной среды за осенне-зимний период 1998-2007 гг. Результаты обработки представлены на рисунке 1.



- диапазон «А» - до 0 °С (26 дней);
- диапазон «Б» - от 0 °С до – 5 °С (31 день);
- диапазон «В» - от – 5 °С до – 10 °С (42 дня);
- диапазон «Г» - от – 10 °С до – 20 °С (83 дня).

Рисунок 1 - Результаты анализа распределения температур в холодное время (по данным «Уралгидромет»)

Результаты наблюдений показывают, что средняя годовая длительность диапазона с отрицательными температурами составляет 156 дней в году. Это предопределяет необходимость разработки мероприятий по облегчению запуска двигателей, так как эксплуатация и хранение машин в лесном хозяйстве в основном осуществляется на открытых площадках либо в неотапливаемых помещениях.

С целью определения факторов, оказывающих наиболее значительное влияние на время запуска в зимний период карбюраторного двигателя на сжиженном нефтяном газе, использован метод экспертной оценки специалистами. В результате выявлены факторы, затрудняющие запуск двигателей на СНГ,- процесс смесеобразования и испаряемость сжиженного нефтяного газа.

В зависимости от климатических условий фракции СНГ (пропан и бутан) применяются в соотношениях: в летний период - 50% пропана и 50% бутана, в зимний период - 70% пропана и 30% бутана. В закрытом сосуде СНГ образует двухфазную систему, состоящую из жидкой и паровой фаз. Давление в баллоне зависит от давления насыщенных паров, которое в свою очередь зависит от температуры жидкой фазы и процентного соотношения пропана и бутана в ней (рисунок 2).

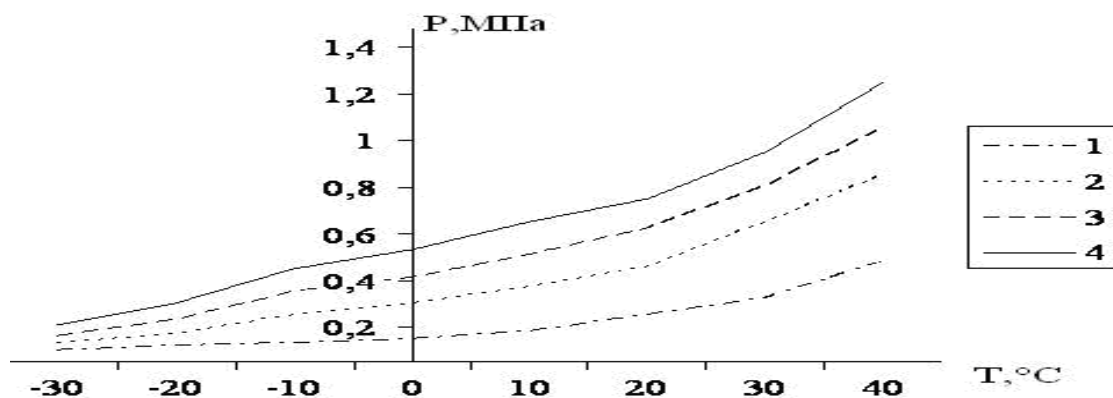


Рисунок 2 Изменение давления насыщенных паров: 1 – 100% бутана; 2 – 50% пропана и 50% бутана; 3 – 70% пропана и 30% бутана; 4 – 100 % пропана.

Давление насыщенных паров характеризует испаряемость сжиженного нефтяного газа. Испаряемость пропана выше, чем бутана, поэтому и давление при отрицательных температурах у него значительно выше. При низких температурах окружающего воздуха эффективнее использовать СНГ с повышенным содержанием пропана. При высоких положительных температурах окружающего воздуха эффективнее использовать СНГ с меньшим содержанием пропана, так как при этом в баллоне и трубопроводах будет создаваться значительное избыточное давление, что может повлиять на герметичность газовой системы (СНГ марки ПБА). Испаряемость СНГ повышается при повышении его температуры. В связи с этим разработана система его разогрева.

В качестве одного из средств, позволяющих осуществлять предпусковой разогрев СНГ при низких температурах воздуха, возможно использование воздушного отопителя. В связи с тем, что преобразование газа из жидкого состояния в парообразное происходит в редукторе-испарителе, то и разогрев газовой аппаратуры целесообразно производить подачей горячего воздуха непосредственно к редуктору-испарителю. С целью сокращения времени тепловой подготовки СНГ редуктор помещается в кожух, куда подается горячий воздух от отопителя.

При исследовании параметров системы подготовки топлива рассматривались масса и объем воздуха, подводимого к редуктору-испарителю; скорость движения горячего воздуха; коэффициент теплоотдачи; количество производимого отопителем тепла (полезное, потери); количество тепла и времени, необходимого для разогрева редуктора-испарителя при различных температурах окружающего воздуха.

Затраты тепла и времени, необходимого для подготовки топлива, и температура воздуха в подкапотном пространстве, при различных температурных показателях окружающей среды зависят от многих факторов:

$$t_{pi} = \int (R_e, N_u, C, \alpha, \lambda, d, S, \Delta T, Q_{om}, P_2);$$

$$Q_{pi} = \int (M_{ред}, C_{ал}, M_{ож}, C_{ож}, T_2, T_1),$$

где R_e - критерий Рейнольдса; N_u - критерий Нуссельта; C - коэффициент (const); α - коэффициент теплоотдачи, $\frac{Вт}{м^2 \cdot град}$; λ - теплопроводность воздуха, $Вт/м \cdot град$; d -

внутренний диаметр патрубка, м; S - общая площадь поверхностей (патрубка и кожуха), $м^2$; ΔT - разность температур воздуха на выходе из отопителя и окружающего воздуха, $°C$; Q_{om} - теплопроизводительность отопителя, $кВт$; P_2 - полезное тепло в процентах к теплопроизводительности отопителя за 1 сек; $M_{ред}$ - масса редуктора-испарителя, кг; $M_{ож}$ - масса охлаждающей жидкости в редукторе-испарителе, кг; $C_{ал}$ - теплоемкость металла

редуктора-испарителя (алюминиевый сплав), $\frac{кДж}{кг \times град}$;

$C_{ож}$ - теплоемкость охлаждающей жидкости (тосола), $\frac{кДж}{кг \times град}$; T_1 , T_2 - начальная и конечная температура редуктора-испарителя соответственно, °C.

Количество тепла, необходимого для нагрева редуктора-испарителя и охлаждающей жидкости в нем $Q_{pi} = (M_{ред} C_{ал} + M_{ож} C_{ож}) (T_2 - T_1)$, кДж, (1)

Время на разогрев редуктора-испарителя и охлаждающей жидкости в нем

$$t_{pi} = \frac{Q_{pi}}{Q_{от} \Pi_2}, \text{ сек,} \quad (2)$$

В результате преобразования параметров зависимости (2) через факторы, связанные с теплом: нагрев топлива (полезное тепло и потери тепла), коэффициент теплоотдачи - время разогрева редуктора-испарителя

$$t_{pi} = \frac{d(M_{ред} C_{ал} + M_{ож} C_{ож})(T_2 - T_1)}{Q_{от} - (c Re^n \lambda S \Delta T)}, \text{ сек.} \quad (3)$$

Таким образом, время нагрева редуктора-испарителя прямо пропорционально зависит от массы нагреваемых элементов, теплоемкости материалов, из которых они изготовлены, и температуры окружающей среды. Снижение затрат времени связано с количеством тепла, подаваемого нагревателем (отопителем), площадью поверхности нагреваемых элементов, коэффициентом теплоотдачи и др. Результаты расчета времени разогрева газа через разогрев редуктора-испарителя до плюс 40 °C в различных температурных условиях представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели	Результаты разогрева при температуре окружающего воздуха, °C									
	0	- 5	- 8	- 15	- 18	- 20	-25	-30	-35	-40
Тепло, необходимое для нагрева редуктора до +40 °C, кДж	74	83	90	101	107	111	119	132	137	147
Полезное тепло, подаваемое отопителем к редуктору, $\frac{кДж}{с}$	0,73	0,63	0,63	0,44	0,44	0,41	0,33	0,25	0,16	0,08
Время, требуемое для разогрева редуктора до +40 °C, мин	1,70	2,20	2,40	3,80	4,00	4,50	6,00	8,80	14,3	30,5

На рисунке 3 приведена зависимость количества тепла, необходимого для подготовки топлива от температуры окружающего воздуха.

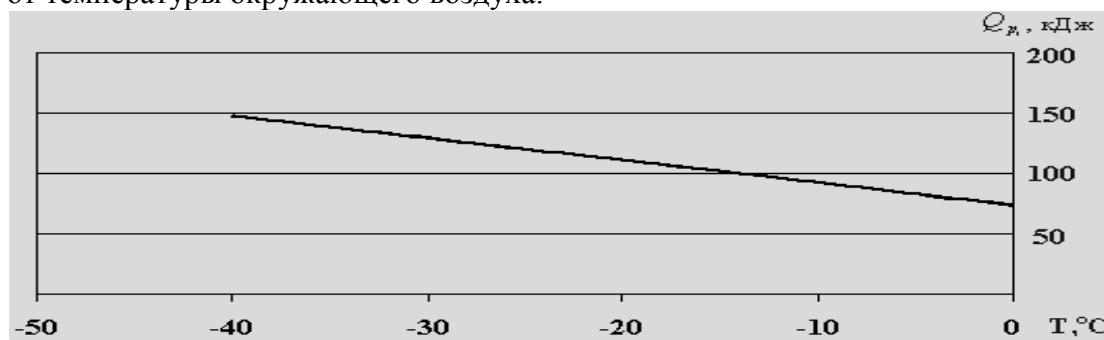


Рисунок 3 – Зависимость количества тепла, необходимого для подготовки топлива от температуры окружающего воздуха

Анализ данных таблицы и рисунка 3 показывает, что с понижением температуры окружающего воздуха увеличивается количество тепла необходимого для нагрева редуктора-испарителя. Понижение температуры на один градус увеличивает потребность тепла в

среднем на 1,8 кДж. Количество полезного тепла при этом уменьшается с 73% до 8%. Потери тепла при температурах ниже минус 20 °С растут на 8-9% с понижением температуры на каждые пять градусов.

На рисунке 4 приведена зависимость времени подготовки топлива от температуры окружающего воздуха.

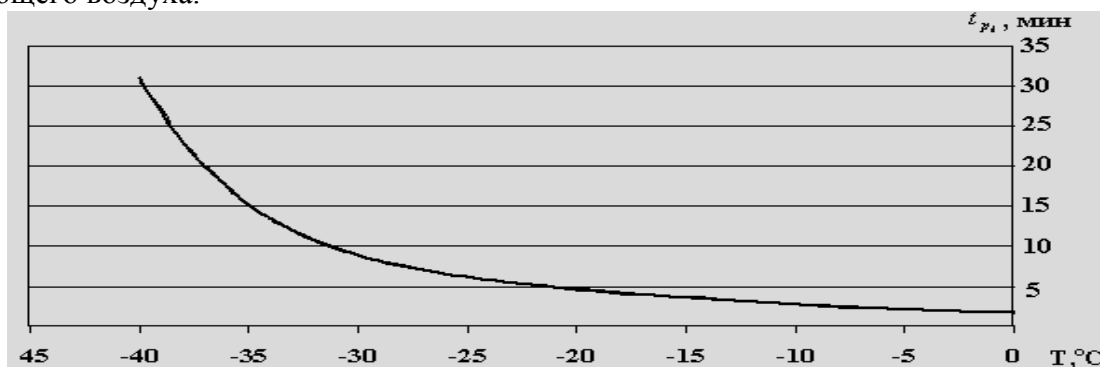


Рисунок 4 - Зависимость времени подготовки топлива от температуры окружающего воздуха

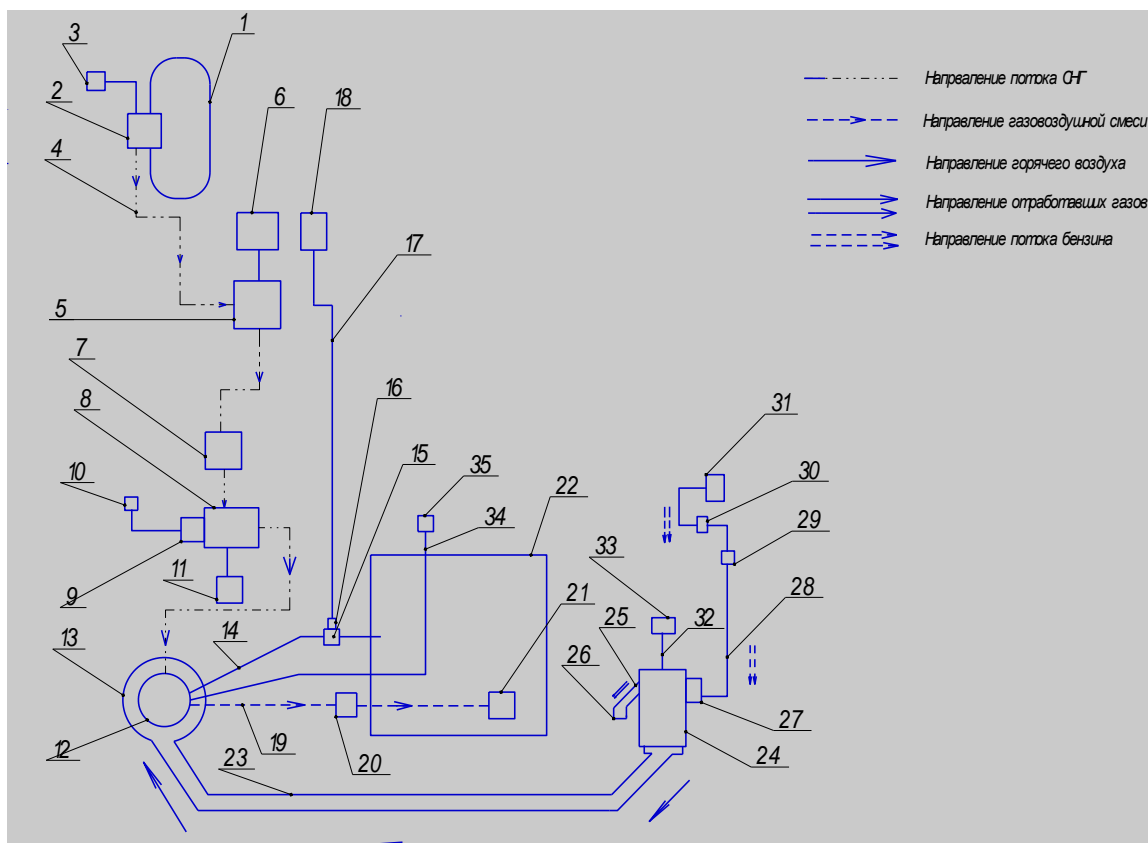
Анализ результатов показывает, что время подготовки топлива с понижением температуры окружающего воздуха от нуля до минус 40 °С увеличивается от 1,7 до 30,5 минут. С понижением температуры на один градус время нагрева увеличивается в диапазоне от нуля до минус 15 °С на 0,1 – 0,2 мин, при температуре ниже минус 20 °С – от 0,3 до 3,2 мин. Количество требуемого тепла на подготовку топлива в зависимости от температуры окружающего воздуха изменяется от 74 до 147 кДж.

Третья глава «Программа и методика проведения экспериментального исследования» включает задачи и методику экспериментальных исследований, оборудование и средства измерений. Перед экспериментом поставлена **цель** – проверка полученных теоретических зависимостей и сравнение результатов использования разработанной системы запуска с существующей на практике системой. На основе проведенных теоретических исследований и анализа литературы разработана программа эксперимента, позволяющая установить возможности расширения температурного диапазона запуска двигателя при работе на газе в рамках установленных региональных температур (рис. 1). Исследование процесса разогрева редуктора-испарителя основывалось на регистрации входных, контролируемых, управляемых и выходного факторов. В качестве основного критерия оценки эффективности тепловой подготовки сжиженного нефтяного газа перед запуском ДВС было принято время разогрева редуктора-испарителя. Задача экспериментальных исследований сводилась к установлению его минимального значения, которое существенно зависит от количества тепла, необходимого для нагрева редуктора-испарителя, и температуры окружающего воздуха.

$$\left. \begin{array}{l} t_{p_i}, Q_{p_i}, T \rightarrow \min \\ Q_{p_i} \in [4...150 \text{ кДж}], T \in [\dots - 40 \text{ °C}] \end{array} \right\} \quad (4)$$

В процессе экспериментов регистрировались следующие параметры: время разогрева СНГ $t_{p_{\text{СНГ}}}$, мин; время запуска двигателя на газе t_z , сек; время разогрева двигателя после запуска t_{p_d} , мин, расход топлива двигателем, отопителем L , л; давление газа в газопроводе P , атм, температура окружающего воздуха T , °С, температура охлаждающей жидкости в редукторе-испарителе $T_{o.ж.}$, °С, температура воздуха на выходе из отопителя $T_{в.о.}$, °С.

Для проведения экспериментальных исследований разработано отопительное устройство, позволяющее осуществлять предпусковой разогрев редуктора-испарителя низкого давления, сжиженного нефтяного газа в нем и подкапотного пространства. Технологический процесс разогрева представлен на рисунке 5.



1 - газовый баллон; 2 - блок запорно-контрольной и предохранительной арматуры; 3 - выносное заправочное устройство; 4 - газовый трубопровод; 5 - тройник металлический; 6 - манометр низкого давления ДМ1001У2 IP40, ГОСТ2405-88; 7 - газовый электроклапан; 8 - тройник металлический; 9 - датчик давления ОТК1 – 09-08; 10 - сигнальная лампа; 11 - манометр низкого давления ДМ1001У2 IP40, ГОСТ2405-88; 12 - газовый редуктор-испаритель низкого давления; 13 - кожух для подогрева газового редуктора-испарителя низкого давления; 14 - шланг резиновый (тосол); 15 - тройник металлический; 16 - датчик температуры ТМ 100А; 17 - высоковольтный провод; 18 - указатель температуры охлаждающей жидкости SPA DG100; 19 - шланг резиновый для газовой смеси; 20 - газовый дозатор; 21 - газовый смеситель; 22 - двигатель ЗМЗ - 51110-8V-4; 23 - металлический гофрированный патрубок; 24 - отопитель воздушный независимый О15-0010-10; 25 - фланец; 26 - металлический гофрированный патрубок; 27 - бензиновый электроклапан; 28 – резиновый топливный шланг (бензиновый); 29 - отстойник бензиновый; 30 - электробензонасос; 31 - топливный бак (бензиновый); 32 - высоковольтный провод; 33 - аккумулятор 6СТ-75, ТУУ 31.4-31950849-001-2004; 34 - высоковольтный провод; 35 - переключатель газовой-бензиновой.

Рисунок 5 - Система запуска двигателя с использованием подогрева СНГ

Редуктор-испаритель 12 помещен в кожух 13, куда поступает горячий воздух от отопителя 24 через присоединительный съемный металлический гофрированный патрубок 23. Из кожуха горячий воздух выходит в подкапотное пространство, нагревая его и двигатель. Для контроля температуры охлаждающей жидкости в редукторе встроен указатель (+датчик) 16, 18 через тройник 15 в один из резиновых шлангов. Манометры низкого давления 6, 11 встраиваются в газопровод перед газовым электроклапаном 7 и после него посредством металлических тройников 5, 8. К манометру, установленному за электроклапаном, встроен также датчик давления 9, к которому подключена сигнальная лампа 10, выведенная на панель приборов. Редуктор-испаритель расположен внутри кожуха на расстоянии 8-10 мм от его стенок. Это позволяет горячему воздуху свободно проходить вокруг всей поверхности редуктора, передавая ему тепло. Соотношение площадей поперечного сечения входных и выходных отверстий подобрано расчетным путем и проверено на опытной установке.

Устройство тепловой подготовки топлива, представленное на рисунке 6, смонтировано на штатном двигателе ЗМЗ-51108-8V-4. В начале эксперимента и после его окончания (январь 2008 г, январь 2011 г) произведена поверка измерительных средств в ФГУ «Уральский центр стандартизации, метрологии и сертификации». Подготовка двигателя проводилась в соответствии с программой испытаний в неотапливаемом боксе в зимнее время года.



1 - указатель температуры охлаждающей жидкости SPA DG100; 2 - кожух для подогрева редуктора-испарителя низкого давления; 3 - датчик температуры (TM100A); 4 - манометр низкого давления ДМ1001У2 IP40 ГОСТ2405-88; 5 - бензиновый двигатель ЗМЗ-51108-8V-4; 6 – радиатор; 7 - бензиновый электроклапан; 8 - гофрированный металлический патрубок отработавших газов; 9 - отопитель O15-0010-10; 10 - гофрированный металлический патрубок.

Рисунок 6 - Установка для предпускового разогрева редуктора-испарителя

Замеры времени разогрева редуктора-испарителя и запуска двигателя на бензине, на СНГ, на СНГ с использованием подогрева проводились при температурах 0; минус 5, 8, 15, 18 и 20 °С. Измерения выполнялись с 100-кратной повторностью при каждом значении температуры. Результаты экспериментов обрабатывались методами математической статистики.

Четвертая глава «Результаты экспериментального исследования» включает материалы исследований, которые проводились на предприятии ООО «Логиком» Богдановичского района Свердловской области. Зависимость количества тепла, необходимого для подготовки топлива к запуску двигателя в различных температурных условиях, представлены на рисунке 7.

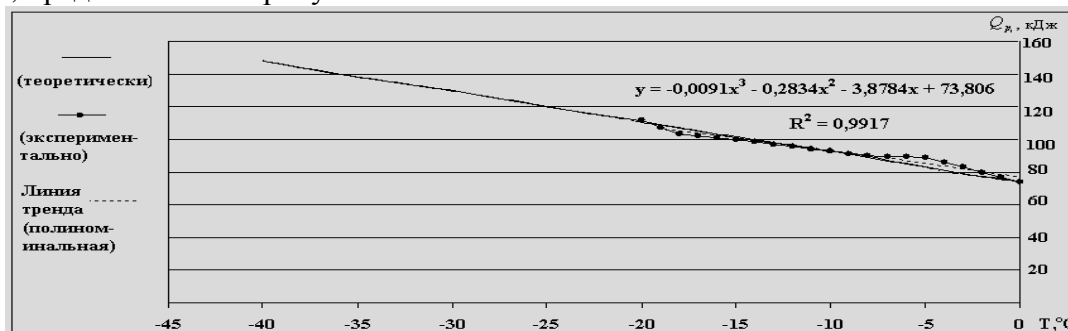


Рисунок. 7 - Зависимости количества тепла для подготовки топлива (теоретические и экспериментальные данные)

На рисунке представлена теоретическая зависимость необходимого количества тепла для разогрева редуктора-испарителя и охлаждающей жидкости в нем до температуры плюс 40 °С при температурном диапазоне окружающего воздуха от нуля до минус 40 °С. Экспериментальные данные разогрева получены в диапазоне температур от нуля до минус 20 °С из-за погодных условий.

Экспериментальная зависимость количества тепла, необходимого для разогрева топлива до температуры плюс 40 °С перед запуском двигателя

$$Q_{pi} = 73,806 - 0,0091T^3 - 0,2834T^2 - 3,8784T, \quad (5)$$

где T – температура окружающего воздуха.

Анализ теоретических и экспериментальных данных показывает, что результаты практически идентичны, разница составляет от одного до шести кДж. Совпадение теоретических и опытных данных составляет 92%, что свидетельствует об удовлетворительном совпадении полученных результатов.

Длительность подготовки топлива в различных температурных условиях представлена на рисунке 8.

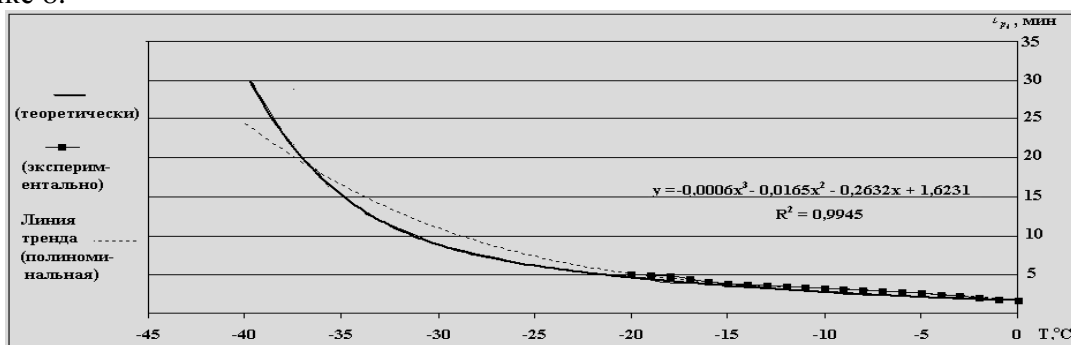


Рисунок 8 - Зависимости времени подготовки топлива от температуры окружающего воздуха (расчетные и экспериментальные данные)

Зависимость количества времени, необходимого для разогрева топлива в редукторе-испарителе до температуры плюс 40 °С от температуры окружающего воздуха

$$t_{pm} = 1,6231 - 0,0006T^3 - 0,0165T^2 - 0,2632T, \quad (6)$$

где T – температура окружающего воздуха.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований показывают, что зависимости практически совпадают. Совпадение теоретических и опытных данных составляет 95%, что свидетельствует об удовлетворительном совпадении полученных результатов.

Для обоснования эффективности применения экспериментальной установки по сравнению с существующей системой запуска проведены эксперименты по запуску двигателя при низких температурах на СНГ, на бензине и на СНГ с использованием разогрева газа. Зависимости продолжительности запуска двигателя на СНГ с использованием предпускового разогрева топлива и без него представлены на рисунке 9.

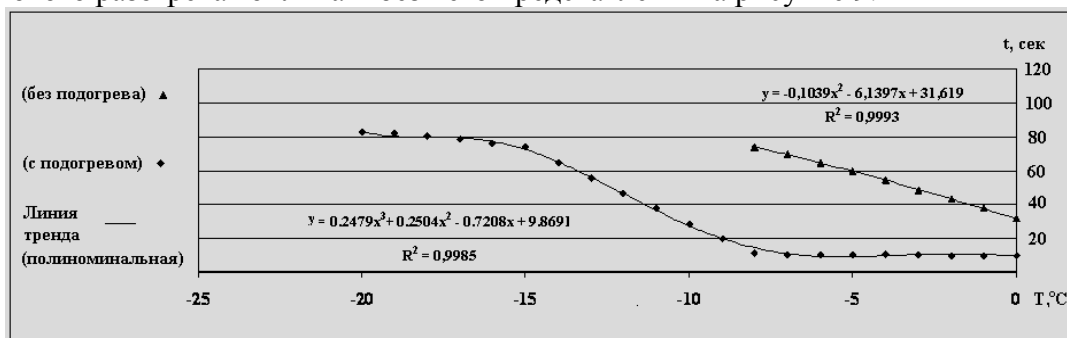


Рисунок 9 - Зависимости времени запуска двигателя на газе с использованием подогрева топлива и без него от температуры окружающего воздуха

Анализ зависимости позволяет сделать вывод о том, что возможность запуска двигателя на сжиженном нефтяном газе значительно ограничена температурными условиями. Время запуска ДВС на газе без подготовки топлива при температуре от нуля до минус 8 °С значительно превышает время запуска ДВС, работающих на СНГ, с использованием разогрева горячим воздухом. Температурный диапазон, при котором возможен запуск двигателя на газе с использованием предпускового разогрева, значительно шире, чем при запуске без него. Зависимость времени запуска на газе без подогрева

$$t_{32} = 31,619 - 0,1039T^2 - 6,1397T, \quad (7)$$

Зависимость времени запуска на газе с подогревом топлива

$$t_{32n} = 9,8691 + 0,2479T^3 + 0,2504T^2 - 0,7208T, \quad (8)$$

где T – температура окружающего воздуха.

Зависимость времени запуска двигателя на бензине и на газе с использованием подогрева при одинаковых температурных условиях представлены на рисунке 10.

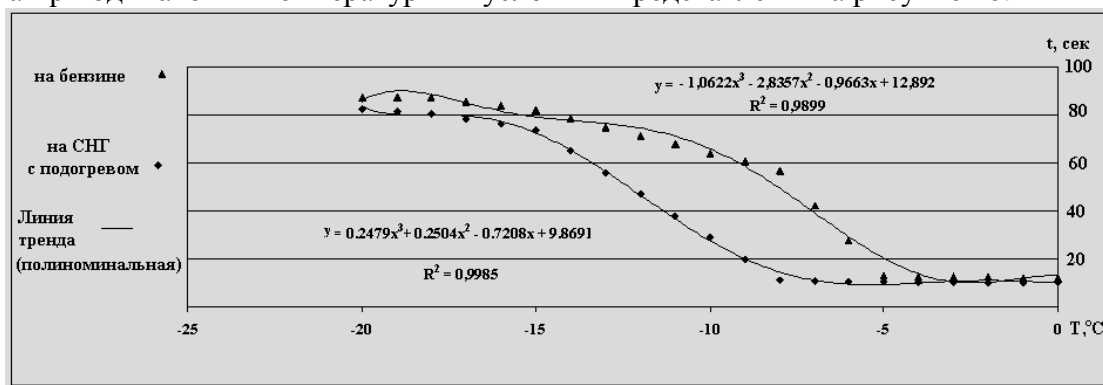


Рисунок 10 – Зависимости времени запуска двигателя на газе с подогревом топлива и на бензине от температуры окружающего воздуха

Данные эксперимента свидетельствуют о том, что температурные диапазоны запуска двигателя на СНГ с использованием разогрева топлива и на бензине совпадают. Средние затраты времени запуска на газе с подогревом ниже, чем на бензине. Это объясняется положительным влиянием предварительного прогрева воздуха в подкапотном пространстве и улучшением условий для воспламенения газозоудшной смеси.

Зависимость времени запуска на газе с подогревом описывается выражением (8), зависимость времени запуска на бензине

$$t_{36} = 12,892 - 1,0622T^3 - 2,8357T^2 - 0,9663T, \quad (9)$$

где T – температура окружающего воздуха.

Анализ результатов показывает, что предпусковой подогрев топлива при низких температурах позволяет значительно расширить температурный диапазон возможности запуска двигателя, работающего на газе. Затраты времени и топлива при запуске двигателя, работающего на СНГ, при низких температурах окружающего воздуха, позволяет утверждать, что разработанная система подготовки топлива доказала свою эффективность.

Общее время *разогрева двигателя на СНГ с использованием предпускового разогрева топлива* и подкапотного пространства составляет в зависимости от температуры окружающего воздуха 7 - 17 мин. Время включает разогрев подкапотного пространства горячим воздухом перед запуском (1 – 5 мин) и время прогрева двигателя до плюс 40 °С после запуска (6 – 12 мин). Расход топлива (бензин для отопителя + СНГ для двигателя), зависящий от температуры окружающего воздуха и времени разогрева, составляет от 1,5 до 3 л. По результатам *разогрева двигателя на бензине* при различных значениях температур окружающего воздуха установлено, что нагрев до температуры плюс 40 °С занимает от 15 до 30 минут. Это значительно превышает время разогрева двигателя на СНГ с предпусковым разогревом топлива и увеличивает расход топлива от 2,7 до 5,5 л для достижения рабочего

состояния. Проведены опыты по определению длительности *разогрева двигателя на СНГ без использования предпусковой подготовки топлива*. Полученные результаты показывают, что запуск двигателя на СНГ и, соответственно, дальнейший его разогрев возможен только при температуре окружающего воздуха до минус 8 °С. Время разогрева при этом составляет от 17 до 23 мин с расходом топлива (СНГ) от 4,25 до 5,75 л. При более низких температурах воздуха необходим запуск и разогрев двигателя на бензине (количество затраченного времени и топлива указано выше).

Таким образом, из приведенных данных видно, что предпусковой подогрев топлива и разогрев самого двигателя с использованием горячего воздуха требуют значительно меньших затрат времени, чем разогрев на газе и на бензине по существующей схеме. Время разогрева двигателя в зависимости от температуры окружающего воздуха сокращается в 1,8 – 2,1 раза. Расход топлива во время разогрева двигателя до температуры плюс 40 °С с использованием отопительной установки экономичнее разогрева двигателя на бензине и на газе в 1,7 – 1,9 раза.

Пятая глава «*Эффективность разработанной технологии и средств запуска двигателя с использованием тепловой подготовки*» посвящена анализу социальных и экономических характеристик предлагаемого способа тепловой подготовки двигателя к запуску на СНГ. Тепловая подготовка топлива в составе ежесменного технического обслуживания машин лесного комплекса способствует соблюдению требований эргономики, позволяет значительно сократить затраты времени, труда и сил водителя на запуск двигателя в зимнее время. Применение разработанного устройства, облегчающего запуск двигателя в условиях низких температур, ведет к сокращению времени разогрева двигателя, уменьшению выброса в атмосферу отработавших газов, что соответствует санитарно-гигиеническим нормам. Расчеты экономического эффекта показали, что предлагаемый вариант запуска двигателя в сложных природно-производственных условиях лесного хозяйства и лесозаготовительного производства позволяет уменьшить эксплуатационные расходы. Применение разработки позволяет увеличить надежность запуска и резко сократить время подготовки двигателя к работе. Общая экономия денежных средств за пять месяцев, полученная при эксплуатации автомобиля ГАЗ-3307 от применения разработанного варианта, за счет использования СНГ составляет по сравнению с запуском двигателя на бензине 17 – 17,5 тыс. руб., срок окупаемости - 0,57 года, в сравнении с использованием запуска двигателя на СНГ без тепловой подготовки топлива составляет 9 – 9,5 тыс. руб., срок окупаемости - 1 год.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Экономичность использования газа в сравнении с жидким нефтяным топливом, экологическая безвредность производства, низкий уровень токсичности продуктов сгорания газа, улучшение эксплуатационных качеств двигателя определяют эффективность применения газа в качестве моторного топлива, как в лесном хозяйстве, так и в других отраслях.

2. Физико-химические свойства сжиженного нефтяного газа в качестве моторного топлива вызывают затрудненный запуск двигателя в условиях низких температур. Эффективное техническое обслуживание автомобилей лесопромышленного комплекса является решением проблемы запуска двигателя. Мероприятия ежесменного технического обслуживания по тепловой подготовке газа позволяют значительно облегчить запуск двигателя.

3. Установлена зависимость распределения температур воздушной среды в зимний период, подтверждающая важность разработки средств облегчения запуска. Результаты показывают, что около ста дней в году требуется использование средств тепловой подготовки топлива перед запуском двигателей при их содержании на открытых площадках в сложных природно-производственных условиях лесного хозяйства зимнего периода.

4. Путем экспертной оценки, анализа данных литературных источников и опыта предприятий обоснован способ облегчения запуска двигателей за счет тепловой подготовки

сжиженного газа к воспламенению, разработана система тепловой подготовки топлива через подвод тепла к редуктору-испарителю.

5. Установлены зависимости затрат времени тепловой подготовки газа с учетом массы нагреваемых элементов, теплоемкости материалов и температуры окружающей среды, количества тепла, подаваемого к редуктору, площади поверхности нагреваемых элементов и других факторов.

6. Экспериментальными исследованиями подтверждены данные теоретических расчетов затрат, необходимых для подготовки газа: а) понижение температуры окружающего воздуха на один градус увеличивает количество необходимого тепла в среднем на 1,8 кДж; б) количество полезного тепла с понижением температуры воздуха от нуля до минус 40 °С уменьшается с 73% до 8%; в) потери тепла, подаваемого к редуктору-испарителю возрастают с 27% до 92%, при температурах ниже минус 20°С их рост составляет 8...9% с понижением температуры на каждые пять градусов; г) время подготовки газа при понижении температуры окружающего воздуха на один градус увеличивается на 0,1 – 0,2 мин в диапазоне от нуля до минус 15 °С, в диапазоне минус 20 °С и ниже - от 0,3 до 3,2 мин; д) нагрев редуктора-испарителя до плюс 40 °С выполняется в течение от 1,70 до 4,50 мин в диапазоне температур воздуха от нуля до минус 20 °С, в диапазоне температур от минус 25 до минус 40 °С - от 6 до 30,5 мин.

7. Разработанная программа реализации цели и задач экспериментального исследования позволила структурировать ход испытаний, конкретизировать контролируемые факторы и получить требуемые результаты. Измерительные приборы, методика обработки результатов и теоретически обоснованные конструктивные параметры разработанной установки предпускового разогрева топлива позволяют получить достоверные результаты эксперимента и выполнить поставленные задачи. По основным параметрам исследуемого процесса вероятность совпадения теоретических и экспериментальных данных составила по расходу тепла 92 %, по затратам времени - 95 %.

8. Эффективность мероприятий машин на предприятиях лесного хозяйства по тепловой подготовке топлива при запуске установлена в следующем: а) значительно расширен температурный предел запуска ДВС на газе путем его тепловой подготовки, по сравнению с возможностью запуска без тепловой подготовки; б) затраты топлива на прогрев двигателя уменьшились на 80-95%; в) время, затраченное на разогрев двигателя с использованием тепловой подготовки топлива при различных температурах в сравнении с разогревом двигателя на газе и на бензине сократилось в 1,8 – 2,1 раза, при сокращении затрат труда на запуск двигателя в несколько раз.

9. Своевременное и качественное техническое обслуживание автомобилей позволяет обеспечить оптимальные значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности используемой в лесном хозяйстве техники, создать требуемые производственно-бытовые и санитарно-гигиенические условия труда, повысить производительность труда и сократить трудовые и материальные затраты. Тепловая подготовка двигателя в процессе ЕО позволяет получить экономию денежных средств в условиях производства лесного комплекса за зимний период по сравнению с запуском на бензине 17 – 17,5 тыс. руб., по сравнению с запуском на СНГ без использования тепловой подготовки топлива – 9 – 9,5 тыс. руб. (в ценах 2011 г).

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Бердышев И.В. Пуск в условиях низких температур автомобильного двигателя, работающего на природном газе [Текст]/ Б.Л Охотников, И.В. Бердышев // Строительные и дорожные машины. – 2011. - № 3. - С. 40-43.

2. Бердышев И.В. Запуск двигателя внутреннего сгорания и климатические условия [Текст]/ Б.Л. Охотников, И.В. Бердышев // Автомобильная промышленность. – 2011. - № 7. - С. 29-30.

3. Бердышев И.В. Проблемы, связанные с эксплуатацией ДВС при низкой температуре окружающего воздуха, и пути их преодоления [Текст]/ Б.Л. Охотников, И.В. Бердышев // Автотранспортное предприятие. – 2011. - № 4. - С. 46-48.

4. Бердышев И.В. Совершенствование пуска двигателя внутреннего сгорания при работе на газе [Текст]/ И.В. Бердышев // Механизация и электрификация в сельском хозяйстве. - 2011. - №9. – С.24-26.

Публикации в других изданиях:

1. Бердышев И.В. Запуск двигателя в холодное время года [Текст]/ Б.Л. Охотников, И.В. Бердышев // Достижение науки – агропромышленному производству: Материалы XLIX международной научно-технической конференции /. Челябинск: ЧГАА, Ч. 1. – 2010. - С. 351-355.

2. Бердышев И.В. Обоснование способа разогрева системы подготовки газа при запуске двигателя внутреннего сгорания в холодное время года [Текст]/ Б.Л. Охотников, И.В. Бердышев // Вестник ЧГАА., т. 58. Челябинск, 2011. - С. 146-148.

3. Бердышев И.В. Опыт использования газа в качестве моторного топлива [Текст]/ Б.Л. Охотников, И.В. Бердышев // Модернизация АПК в контексте обеспечения продовольственной безопасности государства (материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г.Курск 8-10 декабря 2010 г., часть. 1).- Курск: Изд-во Курск гос. с.-х. ак., 2011. - С. 33-35.

4. Бердышев И.В. Проблемы, связанные с эксплуатацией двигателя внутреннего сгорания при низкой температуре окружающего воздуха, и пути их преодоления [Текст]/ И.В. Бердышев // Молодежь и наука, - 2011. – С. 120-122.

5. Бердышев И.В. Практика использования альтернативных видов топлива [Текст]/Б.Л. Охотников, И.В. Бердышев// Сб. Проблемы и достижения автотранспортного комплекса. Екатеринбург, УГТУ-УПИ, - 2009. – С. 150-153.

6. Патент на полезную модель № 108806 Российской Федерации. Устройство для запуска двигателя на сжиженном нефтяном газе в зимних условиях [Текст] / И.В. Бердышев, Б.Л. Охотников; патентообладатель ФГОУ ВПО «Уральская государственная сельскохозяйственная академия». – заявл. 10.06.2011; опубл. 27.09.2011, Бюл. № 27.

7. Бердышев И.В. Использование тепловой подготовки сжиженного нефтяного газа для облегчения запуска двигателя, в сложных природно–производственных условиях лесопромышленного комплекса [Текст] / И.В. Бердышев// журнал научных трудов «Леса России и хозяйство в них», УГЛТУ, - 2011. –№ 3/40. - С. 103-105.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной гербовой печатью, просим направлять по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, Ученому секретарю диссертационного совета Куцубиной Н.В.

Факс: (343) 254-62-25. E-mail:bsovet@usfeu.ru

Подписано в печать 16.02.2012 г. Объем 1,0 п.л. Тираж 100. Заказ № 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37.

Уральский государственный лесотехнический университет.
Отдел оперативной полиграфии.